

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-4009

(P2002-4009A)

(43) 公開日 平成14年1月9日(2002.1.9)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード(参考)
C 2 2 C 38/00	3 0 2	C 2 2 C 38/00	3 0 2 Z 4 K 0 4 2
C 2 1 D 1/18		C 2 1 D 1/18	B
			P
9/08		9/08	E
C 2 2 C 38/46		C 2 2 C 38/46	
審査請求 未請求 請求項の数7 O L (全 8 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願2000-182934(P2000-182934)

(22) 出願日 平成12年6月19日(2000.6.19)

(71) 出願人 000001258

川崎製鉄株式会社

兵庫県神戸市中央区北本町通1丁目1番28号

(72) 発明者 木村 光男

愛知県半田市川崎町1丁目1番地 川崎製鉄株式会社知多製造所内

(72) 発明者 宮田 由紀夫

愛知県半田市川崎町1丁目1番地 川崎製鉄株式会社知多製造所内

(74) 代理人 100099531

弁理士 小林 英一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 油井用高強度マルテンサイト系ステンレス鋼管およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 YS:125ksi(860MPa)以上の高強度と優れた低温靱性、優れた耐CO₂腐食性を有する油井用高強度マルテンサイト系ステンレス鋼管およびその製造方法を提供する。

【解決手段】 C:0.05%以下、Si:0.50%以下、Mn:0.30~1.50%、P:0.03%以下、S:0.005%以下、Cr:11.0~17.0%、Ni:2.0~7.0%、Mo:3.0%以下、Al:0.05%以下、V:0.20%以下、N:0.15%以下、O:0.005%以下を含み、かつCr+Mo+0.3Si-40C-10N-Ni-0.3Mn≤10を満足する組成と、残留オーステナイトを10%以下含む焼戻マルテンサイト組織とする。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 mass%で、

C : 0.05%以下、
Mn : 0.30~1.50%、
S : 0.005 %以下、
Ni : 2.0 ~7.0 %、
Al : 0.05%以下、

Si : 0.50%以下、
P : 0.03%以下、
Cr : 11.0~17.0%、
Mo : 3.0 %以下、
V : 0.20%以下、

$$\text{Cr} + \text{Mo} + 0.3\text{Si} - 40\text{C} - 10\text{N} - \text{Ni} - 0.3\text{Mn} \leq 10 \quad \cdots \cdots (1)$$

ここに、Cr、Mo、Si、C、N、Ni、Mn : 各元素の含有量 (mass%)

【請求項2】 前記組成に加えてさらに、mass%で、Nb : 0.20%以下を含有することを特徴とする請求項1に記載の耐食性、低温靱性に優れた油井用高強度マルテンサイト系ステンレス鋼管。

【請求項3】 前記組成に加えてさらに、mass%で、Cu : 3.5 %以下を含有することを特徴とする請求項1または2に記載の耐食性、低温靱性に優れた油井用高強度マルテンサイト系ステンレス鋼管。

【請求項4】 前記組成に加えてさらに、mass%で、Ca : 0.0005~0.01%を含有することを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載の耐食性、低温靱性に優れた油井用高強度マルテンサイト系ステンレス鋼管。

【請求項5】 前記組成に加えてさらに、mass%で、Ti : 0.3 %以下、Zr : 0.2 %以下、B : 0.01%以下、W : 3.0 %以下のうち1種または2種以上を含有するこ

$$\text{Cr} + \text{Mo} + 0.3\text{Si} - 40\text{C} - 10\text{N} - \text{Ni} - 0.3\text{Mn} \leq 10 \quad \cdots \cdots (1)$$

ここに、Cr、Mo、Si、C、N、Ni、Mn : 各元素の含有量 (mass%)

【請求項7】 前記焼戻処理前に、890 ~950 °Cに加熱したのち冷却する焼入処理を施すことを特徴とする請求項6に記載の耐食性、低温靱性に優れた油井用高強度マルテンサイト系ステンレス鋼管の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、原油あるいは天然ガスの油井、ガス井に使用される油井用マルテンサイト系ステンレス鋼管に関し、特に炭酸ガス(CO₂)、塩素イオン(Cl⁻)などを含む極めて腐食環境の厳しい油井、ガス井で使用するのに好適な、優れた耐食性、低温靱性および降伏強さ: 860MPa (125ksi) 以上を有する油井用高強度マルテンサイト系ステンレス鋼管に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、原油価格の高騰や、近い将来に予想される石油資源の枯渇化を考慮して、従来は省みられなかったような深層油田や、開発が一旦は放棄されていた腐食性の強いサワーガス田等の開発が、世界的規模で盛んになっている。このような油田、ガス田は、一般に深度が極めて深く、またその雰囲気は高温でかつ、CO₂、Cl⁻等を含む厳しい腐食環境となっている。したがって、このような油田、ガス田で採掘に使用される油井

N : 0.15%以下、
O : 0.005 %以下
を含み、かつ下記(1)式を満足し、残部Feおよび不可避免的不純物よりなる組成と、残留オーステナイトを10%以下含有する組織とを有することを特徴とする耐食性、低温靱性に優れた油井用高強度マルテンサイト系ステンレス鋼管。

記

とを特徴とする請求項1ないし4のいずれかに記載の耐食性、低温靱性に優れた油井用高強度マルテンサイト系ステンレス鋼管。

【請求項6】 mass%で、

C : 0.05%以下、
Mn : 0.30~1.50%、
S : 0.005 %以下、
Ni : 2.0 ~7.0 %、
Al : 0.05%以下、
N : 0.15%以下、

Si : 0.50%以下、
P : 0.03%以下、
Cr : 11.0~17.0%、
Mo : 3.0 %以下、
V : 0.20%以下、
O : 0.005 %以下

を、下記(1)式を満足するように含む組成を有する鋼素材を、熱間加工により鋼管としたのち、該鋼管に焼戻し温度を 500~590 °Cとする焼戻処理を施すことを特徴とする耐食性、低温靱性に優れた油井用高強度マルテンサイト系ステンレス鋼管の製造方法。

記

管は、高強度で、しかも耐食性を兼ね備えた材質が要求される。

【0003】CO₂、Cl⁻等を含む環境下では、耐CO₂腐食性に優れた13%Crを含むマルテンサイト系ステンレス鋼材が使用されるのが一般的である。使用環境の悪化に伴い、13%Crのマルテンサイト系ステンレス鋼材にも、より優れた耐食性等の特性を具備することが要求されていた。このような要求に対し、例えば、特開昭62-54063号公報には、耐食性、耐応力腐食割れ性を改善した油井管用マルテンサイト系ステンレス鋼が提案されている。特開昭62-54063号公報に記載された油井管用マルテンサイト系ステンレス鋼では、炭化物を減少するために極低C化し、P、Sの粒界への偏析を防止するために、P、Sの低減、さらにはCaの添加を行うことにより耐応力腐食割れ性が、またN、Moの添加を行うことにより耐食性が、向上するとしている。

【0004】また、特開平2-243740号公報には、Ti、Nb、V、Zrの1種または2種以上を含有し、(Cr+Mo) : 10.5%以上に調整し、さらに単一なマルテンサイト組織となるようにCr、Mo、Si、Ni含有量を調整した油井用マルテンサイト系ステンレス鋼材が提案されている。特開平2-243740号公報に記載された油井用マルテンサイト系ステンレス鋼材では、上記したような構成とすることにより耐硫化物応力腐食割れ性が向上するとして

いる。しかし、特開昭62-54063号公報、特開平2-243740号公報に記載された鋼材の強度は、たかだか降伏強さYSで110ksi(758MPa)以下である。

【0005】油田、ガス田の深度が深くなり、さらなる高強度の油井管が要求されている。そして最近では、寒冷地における油田開発も活発になってきており、高強度に加えて優れた低温靱性を有することを要求されることも多い。しかし、通常のマartenサイト系ステンレス鋼では、強度が95ksiを超えると靱性が極めて低下して使用に耐えなくなるという問題があった。特開昭62-54063号公報、特開平2-243740号公報に記載された鋼材の強度は、降伏強さYSで110ksi(758MPa)以下の強度であり、特開昭62-54063号公報、特開平2-243740号公報に記載された鋼材では、降伏強さYSで125ksi(860MPa)以上の高強度とかつ高靱性をともに満足することは期待できない。

【0006】そのため、従来は、高強度が要求される油井、ガス井では、冷間加工を施した高価な2相ステンレス鋼を用いざるを得なかった。このようなことから、油井管用として、安価な13%Cr系で、優れた耐CO₂腐食性を有し、しかも低温靱性に優れた高強度マartenサイト系ステンレス鋼管の開発が強く望まれていた。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上記した従来技術の問題に鑑み、13%Crを含むマartenサイト系ステンレス鋼管であって、CO₂、Cl⁻等を含む過酷な腐食環境下においても優れた耐CO₂腐食性等の耐食性を示

$$\text{Cr} + \text{Mo} + 0.3\text{Si} - 40\text{C} - 10\text{N} - \text{Ni} - 0.3\text{Mn} \leq 10 \quad \cdots \cdots (1)$$

(ここに、Cr、Mo、Si、C、N、Ni、Mn：各元素の含有量(mass%))を満足し、残部Feおよび不可避的不純物よりなる組成と、残留オーステナイトを面積率で10%以下含有する組織とを有することを特徴とする耐食性、低温靱性に優れ、降伏強さ：860MPa以上を有する油井用高強度マartenサイト系ステンレス鋼管であり、また、第1の本発明では、前記組成に加えてさらに、mass%で、Nb：0.20%以下を含有することが好ましく、また、第1の本発明では、前記各組成に加えてさらに、mass%で、Cu：3.5%以下を含有することが好ましく、また、第1の本発明では、前記各組成に加えてさらに、mass%で、

$$\text{Cr} + \text{Mo} + 0.3\text{Si} - 40\text{C} - 10\text{N} - \text{Ni} - 0.3\text{Mn} \leq 10 \quad \cdots \cdots (1)$$

(ここに、Cr、Mo、Si、C、N、Ni、Mn：各元素の含有量(mass%))を満足するように含む組成を有する鋼素材を、熱間加工により鋼管としたのち、該鋼管に焼戻し温度を500～590℃とする焼戻し処理を施すことを特徴とする耐食性、低温靱性に優れた降伏強さ：860MPa以上級油井用高強度マartenサイト系ステンレス鋼管の製造方法であり、第2の本発明では、前記焼戻し処理前に、890～950℃に加熱したのち冷却する焼入処理を施してもよい。

【0012】

し、かつ降伏強さYSで125ksi(860MPa)以上の高強度と優れた低温靱性を有する油井用高強度マartenサイト系ステンレス鋼管およびその製造方法を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、上記した課題を達成するために、まず耐CO₂腐食性の点で油井管に好適であると考えられている13%Crマartenサイト系ステンレス鋼管に着目し、このマartenサイト系ステンレス鋼管に降伏強さYSで860MPa以上の高強度と優れた低温靱性を、耐食性ととも具備させるための方策について鋭意研究した。

【0009】その結果、本発明者らは、13%Cr鋼において、Cを従来より著しく低減し、Ni、Mo、Vを増量含有し、さらにS、Si、Al、Oを低減するとともに、Cr、Mo、Si、C、N、Ni、Mnの含有量を一定の関係式を満足するように調整することによって、良好な熱間加工性、耐食性が確保されるとともに、YSで860MPa以上の高強度でかつ優れた低温靱性が得られることを見出した。

【0010】本発明は、上記した知見に基づいて完成されたものである。すなわち、第1の本発明は、mass%で、C：0.05%以下、Si：0.50%以下、Mn：0.30～1.50%、P：0.03%以下、S：0.005%以下、Cr：11.0～17.0%、Ni：2.0～7.0%、Mo：3.0%以下、Al：0.05%以下、V：0.20%以下、N：0.15%以下、O：0.005%以下を含み、かつ次(1)式

Ca：0.0005～0.01%を含有することが好ましく、また、第1の本発明では、前記各組成に加えてさらに、mass%で、Ti：0.3%以下、Zr：0.2%以下、B：0.01%以下、W：3.0%以下のうち1種または2種以上を含有することが好ましい。

【0011】また、第2の本発明は、mass%で、C：0.05%以下、Si：0.50%以下、Mn：0.30～1.50%、P：0.03%以下、S：0.005%以下、Cr：11.0～17.0%、Ni：2.0～7.0%、Mo：3.0%以下、Al：0.05%以下、V：0.20%以下、N：0.15%以下、O：0.005%以下を、次(1)式

【発明の実施の形態】本発明の高強度マartenサイト系ステンレス鋼管は、降伏強さYSが125ksi以上(860MPa以上)の高強度を有し、低温靱性に優れた鋼管である。まず、本発明鋼管の組成限定理由について説明する。なお以下、mass%は単に%と記す。

C：0.05%以下

Cは、マartenサイト系ステンレス鋼管の強度を確保するために必要な元素であるが、本発明ではNiを含有するため、多量に含有すると焼戻し時に鋭敏化が起こりやすくなる。このため、本発明ではCは0.05%以下とした。

また、耐食性の観点からはCはできるだけ低減するのが好ましいが、強度の確保を考慮して、Cは0.001～0.03%の範囲とするのが好ましい。

【0013】Si：0.50%以下

Siは、通常の製鋼過程においては脱酸剤として必要な元素であるが、0.50%を超えると耐CO₂腐食性を低下させ、さらに熱間加工性をも低下させる。このため、Siは0.50%以下に限定した。

Mn：0.30～1.50%

Mnは、マルテンサイト系ステンレス鋼管の強度を確保するために必要な元素であり、本発明では0.30%以上の含有を必要とするが、1.50%を超えて含有すると韌性に悪影響を及ぼす。このため、Mnは0.30～1.50%の範囲に限定した。

【0014】P：0.03%以下

Pは、耐CO₂腐食性、耐CO₂応力腐食割れ性、耐孔食性および耐硫化物応力腐食割れ性をともに劣化させる元素であり、できるだけ低減するのが望ましいが、極端な低減は製造コストの上昇を招く。このため、Pは、工業的に比較的安価に実施可能でかつ耐CO₂腐食性、耐CO₂応力腐食割れ性、耐孔食性および耐硫化物応力腐食割れ性を劣化させない範囲である0.03%以下とした。

【0015】S：0.005%以下

Sは、熱間加工性を著しく劣化させる元素であり、鋼管製造過程における生産性向上のためにも、できるだけ低減するのが望ましいが、極端な低減は製造コストの上昇を招く。0.005%以下に低減すれば、通常の工程での鋼管製造が可能となることから、Sの上限を0.005%とした。なお、好ましくは0.003%以下である。

【0016】Cr：11.0～17.0%

Crは、耐CO₂腐食性、耐CO₂応力腐食割れ性を保持するために主要な元素であり、耐食性の観点からは11.0%以上の含有を必要とするが、17.0%を超えて含有すると熱間加工性が劣化する。このことから、Crは11.0～17.0%の範囲に限定した。

【0017】Ni：2.0～7.0%

Niは、保護皮膜を強固にする作用を有し、それにより耐CO₂腐食性、耐CO₂応力腐食割れ性、耐孔食性および耐硫化物応力腐食割れ性を高める元素であり、また、固溶強化により鋼管の強度を増加させる元素でもある。Cを低減する本発明では、Niは強度増加を主目的に添加されるが、2.0%未満の含有ではその効果が認められず、一方、7.0%を超える含有はマルテンサイト組織の安定性を損なう。このことから、Niは2.0～7.0%の範囲に限定した。

【0018】Mo：3.0%以下

Moは、Cl⁻による孔食に対する抵抗性を増加させる元素であり、0.5%以上含有するのが望ましいが、3.0%を超えて含有するとδフェライトの発生を招き、耐CO₂腐食性、耐CO₂応力腐食割れ性および熱間加工性を低下さ

せる。また、Moは高価な元素であり3.0%を超える含有は経済的に不利となる。このようなことから、Moは3.0%以下に限定した。なお好ましくは1.5%以下である。

【0019】Al：0.05%以下

Alは、強力な脱酸作用を有する元素であるが、0.05%を超える含有は韌性に悪影響を及ぼす。このため、Alは0.05%以下に限定した。好ましくは0.02～0.04%である。

V：0.20%以下

Vは、強度を増加させ、また耐応力腐食割れ性を改善する作用を有する元素であるが、0.20%を超える含有は、韌性を劣化させる。このため、Vは0.20%以下に限定した。好ましくは0.03～0.10%である。

【0020】N：0.15%以下

Nは、耐孔食性を著しく向上させる元素であり、0.01%以上含有するのが望ましいが、0.15%を超える含有は、種々の窒化物を形成して韌性を劣化させる。このため、Nは0.15%以下の範囲に限定した。

O：0.005%以下

Oは、本発明鋼管の性能を十分発揮させるために、極めて重要な元素であり、できるだけ低減するのが好ましい。すなわち、O含有量が多いと各種の酸化物を形成して熱間加工性、耐CO₂応力腐食割れ性、耐孔食性、耐硫化物応力腐食割れ性および韌性を著しく低下させる。このため、Oは0.005%以下に限定した。

【0021】本発明では、上記した組成に加えて、さらにNb、あるいはCa、あるいはCuを単独あるいは複合して含有できる。またさらに上記した組成に加えて、Ti、Zr、B、Wの1種または2種以上を選択して含有できる。またさらに上記した組成に加えて、Nb、あるいはCa、あるいはCuを単独あるいは複合して含有し、さらにTi、Zr、B、Wの1種または2種以上を選択して含有できる。

【0022】Nb：0.20%以下

Nbは、炭化物を形成し、強度を上昇させ、韌性を改善する作用を有する元素であるが、0.20%を超えての含有は、逆に韌性を低下させる。このため、Nbは0.20%以下に限定するのが好ましい。

Ca：0.0005～0.01%

Caは、SをCaSとして固定しS系介在物を球状化し、介在物の周囲のマトリックスの格子歪を小さくして、水素のトラップ能を下げ、耐水素割れ性を向上させる元素である。このような効果は0.0005%以上の含有で顕著となるが、0.01%を超え含有は、CaOの増加を招き、耐CO₂腐食性、耐孔食性を低下させる。このため、Caは0.0005～0.01%に限定するのが好ましい。なお、より好ましくは0.001～0.005%である。

【0023】Cu：3.5%以下

Cuは、保護皮膜を強固にして、鋼管中への水素の侵入を抑制し、耐硫化物応力腐食割れ性を高める元素であり、添加する場合には0.3%以上含有するのが望ましいが、

3.5 %を超えて含有すると、高温でCuS が粒界析出し、熱間加工性が低下する。このことから、Cuは3.5 %以下に限定するのが好ましい。

【0024】Ti: 0.3 %以下、Zr: 0.2 %以下、B: 0.01%以下、W: 3.0 %以下の1種または2種以上
Ti、Zr、B、Wは、いずれも強度を上昇させ、耐応力腐食割れ性を改善する作用を有し、本発明では、必要に応じ選択して含有できる。Tiは0.3 %を、Zrは0.2 %を、Bは0.01%、Wは3.0 %を、それぞれ超えて含有すると靱性を劣化させるため、Tiは0.3 %、Zrは0.2 %、Bは

$$\text{Cr} + \text{Mo} + 0.3\text{Si} - 40\text{C} - 10\text{N} - \text{Ni} - 0.3\text{Mn} \leq 10 \quad \cdots \cdots (1)$$

ここに、Cr、Mo、Si、C、N、Ni、Mn: 各元素の含有量 (mass%) を満足するように調整する。(1) 式左辺のA値 $=\text{Cr} + \text{Mo} + 0.3\text{Si} - 40\text{C} - 10\text{N} - \text{Ni} - 0.3\text{Mn}$ が10を超えると、所望の強度が満足されても低温靱性が劣化する。このため、本発明では、A値を10以下に限定した。

【0026】また、本発明鋼管は、残留オーステナイトを面積率で10%以下含有する焼戻しマルテンサイト組織を有する。残留オーステナイト量が面積率で10%を超えると高強度を安定して確保することが困難となる。つぎに、本発明鋼管の製造方法について、説明する。上記した組成の鋼素材を熱間加工により鋼管とする。本発明では鋼素材の製造方法についてはとくに限定する必要はない。転炉、電気炉等の通常公知の溶製方法で上記した組成の溶鋼を溶製し、あるいはさらに2次精錬等を付加したのち、連続鋳造法等の通常公知の鋳造方法で鋼素材とするのが好ましい。

【0027】また、本発明では、鋼素材の熱間加工方法についてはとくに限定する必要はなく、通常の継目無鋼管の製造工程を用いて継目無鋼管とすればよい。継目無鋼管の製造工程としては、マンドレルミル方式、プラグミル方式等の熱間加工による製造工程が好ましい製造工程である。なお、継目無鋼管以外の電縫鋼管、UOE鋼管の製造工程を用いて鋼管としてもよい。

【0028】熱間加工により製造された鋼管は、熱間加工のまま、あるいは890 ~ 950 °Cの温度範囲に加熱して冷却する焼入れ処理を施されたのち、焼戻し温度を 500 ~ 590 °Cとする焼戻し処理を施される。焼戻し温度が500 °C未満、あるいは590 °Cを超えると、安定してオーステナイトを面積率で10%以下析出させることができず、高強度と優れた低温靱性を具備することができない。焼戻し温度が500 °C未満では、オーステナイトが析出せず、また590 °Cを超えると析出するオーステナイト量が多くなりすぎ強度が低下する。なお、焼戻し処理における冷却はとくに限定する必要はなく空冷、あるいは水冷いづれでもよい。

【0029】また、焼戻し処理前の焼入れ処理では、加熱温度が890 °C未満では、組織の均一化が不十分になる場合があり、950 °Cを超えると結晶粒の粗大化が生じ、

0.01%、Wは3.0 %を、それぞれ上限とするのが好ましい。また、Bは0.0005%未満では上記した効果が少ないため、0.0005%以上とするのがより好ましい。すなわち、Tiは0.3 %以下、Zrは0.2 %以下、Bは0.01%以下、Wは3.0 %以下に限定するのが好ましい。

【0025】上記した成分以外の残部は、Feおよび不可避免的不純物である。本発明では、さらに、Cr、Mo、Si、C、N、Ni、Mnの含有量を上記した組成範囲内でかつ、次(1)式

靱性劣化の原因になる場合がある。このため、焼入れ処理の加熱温度は890 ~ 950 °Cの温度範囲とするのが好ましい。なお、焼入れ処理における冷却はとくに限定する必要はなく空冷、あるいは水冷いづれでもよい。

【0030】

【実施例】表1に示す組成の溶鋼を十分に脱ガスした後、100 キロ鋼塊とし、研究用モデルシームレス圧延機により外径3.3 インチ(83.8mmφ)、肉厚0.5 インチ(12.7mm)のパイプ(鋼管)を作製した。次いで各パイプから試験片素材を切り出し、920 °Cで1時間加熱後、空冷し、さらに540 ~ 620 °Cで30分間の焼戻しを施した。

【0031】得られたパイプについて、組織、引張特性、低温靱性、耐食性を調査した。

(1) 組織

各パイプから試験片を採取し、管長手方向と直交する断面(C断面)で走査型電子顕微鏡を用いて組織を観察した。また、組織中の残留オーステナイト(γ)量は、X線回折装置を用いて、管のC方向断面から試験片(10mm厚×10mm×10mm)を採取し、 γ の(220)からの回折強度と、 α の(211)からの回折強度との比から算出した。

(2) 引張特性

各パイプから、JIS 10号試験片を鋼管の長手方向から採取し、引張試験を実施し、降伏強さYS、引張強さTSを求めた。

(3) 低温靱性

低温靱性は、シャルピー衝撃試験を実施し評価した。各パイプからJIS 4号試験片を採取して、試験温度: -20 °Cでシャルピー衝撃試験を実施し、吸収エネルギー vE_{-20} を求めた。

(4) 耐食性

各パイプから、厚さ3 mm×幅30mm×長さ40mmの腐食試験片を機械加工によって採取し、オートクレープ中で腐食試験を実施し、耐食性を評価した。腐食試験の条件は、CO₂ ガス: 30気圧、温度: 150 °Cの20質量%NaCl水溶液中で2週間浸漬する条件とした。腐食試験後、試験片の重量を測定し、腐食減量を求めた。また、腐食試験後の試験片表面を10倍のルーペで孔食の有無を観察した。

【0032】この腐食減量から計算した腐食速度と試験片表面の孔食発生の有無で耐食性を評価した。これらの結果を表2に示す。

【0033】
【表1】

鋼材 No.	化 学 組 成 (mass%)													焼戻し 温度 (℃)	
	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Ni	Mo	V	N	O	その他		A *
A	0.026	0.19	0.51	0.02	0.001	0.01	13.4	4.34	0.44	0.051	0.076	0.0024	—	7.60	560
B	0.024	0.28	0.42	0.01	0.001	0.02	12.7	2.54	1.10	0.034	0.025	0.0048	Nb:0.035	9.01	550
C	0.027	0.23	0.45	0.01	0.001	0.01	13.4	3.68	1.28	0.052	0.037	0.0045	Ti:0.047	9.49	550
D	0.010	0.31	0.42	0.02	0.001	0.01	12.7	5.13	2.49	0.041	0.062	0.0037	Zr:0.016	9.01	560
E	0.021	0.20	0.45	0.02	0.001	0.02	13.1	5.06	0.88	0.038	0.038	0.0043	—	7.63	550
F	0.017	0.22	0.44	0.02	0.001	0.01	13.4	3.75	0.93	0.042	0.063	0.0028	Ti:0.031, W:0.520	9.20	550
G	0.025	0.24	0.61	0.02	0.001	0.01	13.4	4.09	0.16	0.085	0.035	0.0039	Ca:0.002	8.01	560
H	0.023	0.25	0.33	0.01	0.002	0.02	12.9	4.19	0.26	0.065	0.056	0.0048	Ti:0.022, B:0.001	7.47	540
I	0.022	0.30	0.62	0.02	0.001	0.02	13.8	3.68	0.91	0.037	0.028	0.0032	Zr:0.012	9.77	540
J	0.011	0.24	0.49	0.02	0.001	0.02	13.6	5.51	0.64	0.051	0.046	0.0029	Cu:0.340	7.76	560
K	0.023	0.24	0.39	0.02	0.002	0.02	13.1	0.76	0.75	0.010	0.061	0.0013	—	11.52	560
L	0.026	0.26	0.41	0.01	0.001	0.02	10.4	3.09	0.45	0.047	0.037	0.0035	—	6.31	560
M	0.059	0.31	0.46	0.02	0.001	0.01	12.6	3.55	0.77	0.031	0.018	0.0026	Ti:0.025	7.24	620
N	0.027	0.21	0.46	0.02	0.001	0.02	13.5	1.53	0.47	0.018	0.026	0.0036	—	11.03	560
O	0.026	0.34	0.44	0.02	0.001	0.02	13.4	4.97	0.18	0.046	0.012	0.0039	—	7.42	620
P	0.028	0.21	0.43	0.01	0.001	0.01	13.0	2.15	1.45	0.055	0.078	0.0018	Ti:0.014	10.33	550
Q	0.017	0.26	0.41	0.02	0.001	0.02	13.3	4.33	0.97	0.051	0.029	0.0027	B:0.002	8.92	560
R	0.018	0.21	0.47	0.01	0.001	0.02	12.9	4.06	1.01	0.064	0.031	0.0026	W:0.24	8.74	560
S	0.024	0.23	0.43	0.01	0.001	0.01	12.6	4.14	0.92	0.032	0.046	0.0031	Nb:0.056, Cu:0.63, Ca:0.001, Ti:0.022	7.90	560
T	0.020	0.28	0.50	0.02	0.001	0.02	13.2	4.10	1.05	0.069	0.079	0.0044	Nb:0.069, Cu:0.51, Ca:0.002, B:0.001	8.49	560

*) (1) 式左辺 A=Cr+Mo+0.2Si -40C -10N -Ni-0.2Mn

【0034】

【表2】

鋼管 No	鋼管材 No	焼入れ 温度 ℃	焼戻し 温度 ℃	組織		引張特性		低温靱性 vE_{-20} (J)	耐食性		備考
				種類 **	残留 γ %*	YS MPa	TS MPa		孔食の有無	腐食速度 (mm/y)	
1	A	910	560	TM+ γ	2.8	948	1040	147	無	0.093	本発明例
2	B	910	550	TM+ γ	2.1	960	1049	120	無	0.084	本発明例
3	C	910	550	TM+ γ	3.8	920	985	127	無	0.079	本発明例
4	D	910	560	TM+ γ	1.9	984	1081	196	無	0.085	本発明例
5	E	910	550	TM+ γ	4.9	913	968	170	無	0.077	本発明例
6	F	910	550	TM+ γ	9.7	867	971	125	無	0.074	本発明例
7	G	910	560	TM+ γ	2.7	932	985	151	無	0.083	本発明例
8	H	920	540	TM+ γ	1.4	974	1031	158	無	0.091	本発明例
9	I	920	540	TM+ γ	5.9	911	982	109	無	0.084	本発明例
10	J	920	560	TM+ γ	2.5	967	1045	195	無	0.043	本発明例
11	K	920	560	TM+ α	—	939	1170	42	有	0.079	比較例
12	L	920	560	TM+ γ	10.3	933	992	76	有	0.175	比較例
13	M	920	620	TM+ γ	13.2	843	983	152	無	0.096	比較例
14	N	920	560	TM+ α	—	932	987	33	有	0.084	比較例
15	O	920	620	TM+ γ	12.4	838	966	163	有	0.074	比較例
16	P	920	550	TM+ γ + α	0.5	961	1041	48	無	0.097	比較例
17	Q	920	560	TM+ γ	3.1	938	1014	141	無	0.079	本発明例
18	R	920	560	TM+ γ	3.6	917	936	156	無	0.081	本発明例
19	S	920	560	TM+ γ	2.7	946	1012	127	無	0.097	本発明例
20	T	920	560	TM+ γ	2.1	965	1068	144	無	0.085	本発明例

*) 面積率
 **) TM : 焼戻しマルテンサイト
 γ : オーステナイト
 α : フェライト

【0035】本発明例は、いずれもYS: 860MPa以上の高強度を有し、 -20°C での吸収エネルギー vE_{-20} が100 J以上と高強度でかつ優れた低温靱性を有し、しかも腐食速度が0.1mm/y 未満で、孔食の発生も見られず耐 CO_2 腐食性にも優れた鋼管となっている。一方、本発明の範囲を外れる比較例では、YS: 860MPa以上の高強度が得られないか、あるいは低温靱性が劣化しているか、あるいは腐食速度が0.1mm/y 以上か、孔食の発生が認められるかして耐 CO_2 腐食性が劣化している。

【0036】このように、本発明鋼管は高強度でかつ、

低温靱性、耐炭酸ガス腐食性に優れ、炭酸ガスを含む寒冷地の油井環境で油井管として十分使用可能であることがわかる。

【0037】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、過酷な環境で使用される油井管として十分に使用できる高強度、高靱性でかつ CO_2 、 Cl^- を含む高温の厳しい腐食環境下においても十分な耐食性を有する高強度マルテンサイト系ステンレス鋼管を安価に安定して提供でき、産業上格段の効果を奏する。

フロントページの続き

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	(参考)
C 2 2 C	38/54	C 2 2 C	38/54

(72)発明者	豊岡 高明	(72)発明者	北幅 由一
	愛知県半田市川崎町 1 丁目 1 番地 川崎製		愛知県半田市川崎町 1 丁目 1 番地 川崎製
	鉄株式会社知多製造所内		鉄株式会社知多製造所内
		F ターム(参考)	4K042 AA06 BA02 BA06 CA02 CA03
			CA05 CA07 CA08 CA09 CA10
			CA11 CA12 CA13 DA01 DA02
			DC02